



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학전문석사학위 연구보고서

전력선 통신방식의
지중지역 AMI 영향분석
- AMI Effect Analysis of Power-Line
Communication System on Underground

2018년 2월

서울대학교 공학전문대학원

응용공학과 응용공학전공

심 준 수

전력선 통신방식의 지중지역 AMI 영향분석

- AMI Effect Analysis of Power-Line Communication System on Underground

지도교수 정 현 교

이 프로젝트 리포트를 공학전문석사 학위
연구보고서로 제출함
2018년 2월

서울대학교 공학전문대학원
응용공학과 응용공학전공
심 준 수

심준수의 공학전문석사 연구보고서를 인준함
2018년 2월

위 원 장 _____ 윤 용 태 (인)

위 원 _____ 정 현 교 (인)

위 원 _____ 진 영 규 (인)

국문초록

발전된 전력을 수용가에게 공급하는 단방향의 전력시스템에서 벗어나 고객이 발전한 전력을 계통에 공급하고 잉여전력량을 판매할 수 있는 양방향 전력 시스템으로 변해가고 있다. 안정적인 전력수급에 있어서는 시간대별 전력사용량 정보가 중요해 졌으며, 이를 실현하기 위해서는 지능화된 전력망 구성이 필수적이다. 수용가에서 발전하거나 소비하는 전력량의 실시간 데이터 취득을 위해서 지능형전력계량인프라(이하 AMI) 구축이 한창이다. AMI 구축을 통해 양방향 계량도 가능해 졌으며, 수용가의 전기품질 정보도 계측할 수 있게 되어 전력계통의 신뢰도도 향상 시킬수 있게 되었다. 전력량계의 전력사용량 정보나 전압, 전류 데이터를 원격으로 취득하기 위해서 신뢰성과 경제성이 우수한 통신망이 필요하다. 전기사용량이 많은 고객은 이동통신망을 이용해서 계량데이터를 취득하면 되지만, 전기사용량이 적은 주택용 고객의 경우에는 통신비가 높은 이동통신망을 이용하기에 많은 제약사항이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 전력선 통신방식(PLC : Power Line Communication)이 도입되었다. PLC 통신방식은 별도의 통신선을 설치하지 않고, 전력을 공급하기 위해 설치된 전력선을 이용해서 통신하기 때문에 AMI구축과 경제성 측면에서 좋은 장점을 가지고 있다. 하지만, 전력선을 이용해서 계량데이터를 취득하다 보면 전력선의 설치형태와 각종 부하에서 발생하는 노이즈에 의해서 통신 성능에 영향을 받는다. 현재 우리나라에서도 AMI 구축을 위해 다양한 통신방식을 검토하고 있지만, PLC방식을 주로 사용하고 있다. 현재 PLC방식은 가공으로 설치된 전력선에서는 통신성능이 양호하지만 지중에 매설된 전력선에서는 통신성능이 불량해서 대

부분 가공지역 위주로 설치하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 지중지역에서 PLC 통신성능에 미치는 영향에 대해서 정량적인 분석이 없어 이에 대한 영향을 분석하였다.

전력선이 지중에 매설되어 있을 경우 전자기파는 전력선과 땅사이로 전송되며, 땅의 유전율 때문에 파장도 변경되어 지중에 매설되어 있는 경우 장거리 방사에 더 많은 영향을 받았다. 그리고, 전력선의 거리와 분기된 선로수 증가에 따라 신호 감쇠도 높았다. 분기된 선로에서는 송신단과 수신단 사이에서 반송파가 발생하고, 신호의 반송파는 저압선로에서 임피던스 불일치와 전송 손실을 발생시켰다. 부하가 연결된 전력선에서는 동력설비와 같은 유도성 부하의 운전과 정지시 유입되며 임펄스노이즈가 가장 나쁜 요소로 작용했다. 또한, 지중지역에 사용하는 전선의 고유값을 바탕으로 특성임피던스와 감쇠계수를 분석한 결과 지중케이블에서 신호감쇠가 많아 통신성능에 취약하다는 것을 알 수 있었다.

이론적인 근거를 바탕으로 LAB과 실제 현장에서 지중지역 PLC통신방식의 영향을 분석하였다. 국산 PLC 통신방식의 통신성능을 시험하기 위해 LAB에서 강제로 신호를 감쇠시켜 가면서 통신성능을 측정하였다. 그리고, 가공전선과 지중케이블을 현장에 각각 설치하고 부하를 연결하지 않은 상태에서 신호를 인가했을 때 신호의 변화 여부를 확인하였다. 또한, 부하를 사용 중인 가공 및 지중지역에서 통신성능의 측정을 수행하였다. 측정결과 지중지역에서 PLC 통신방식은 가공지역보다 높은 신호 감쇠가 있는 것을 현장측정 결과에서를 통해서 확인 할 수 있었다.

본 연구에서는 설치환경이나 시설위치에 따라서 PLC 통신방식에 미치는 영향을 이론적으로 분석하였고, 현장실증을 통해서 이를 검증하였다.

주요어 : 전력선 통신방식, PLC방식, 원격검침, AMI시스템

목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경 및 목적	1
1.2 논문의 구성 및 개요	3
제 2 장 PLC통신방식의 구성요소	4
2.1 AMI 시스템과 전력량계	4
2.2 PLC 통신방식과 현황	6
2.3 저압 원격검침 시스템 구성	8
제 3 장 지중지역 PLC통신 영향분석	10
3.1 PLC통신에 미치는 영향과 요소	10
3.1.1 시설위치에 따른 신호 특성	10
3.1.2 설치환경에 따른 신호 특성	11
3.2 전력선 선종에 따른 영향분석	14
제 4 장 PLC통신 영향분석 사례연구	19
4.1 PLC 실증대상 선정과 성능시험	19
4.1.1 대상지역 선정 및 측정장비	19
4.1.2 통신성능 측정항목 및 내역	21
4.1.3 국산 PLC 통신방식 성능시험	22
4.2 PLC 통신방식 현장실증	25
4.2.1 전선종류 및 거리별 신호감쇠 측정	25
4.2.2 지중지역 PLC 통신성능 현장측정	29
4.2.3 가공지역 PLC 통신성능 현장측정	33

제 5 장 결론	38
참고문헌	40
Abstract	42

표 목 차

표 2.1 전력량계 기능비교	5
표 2.2 전력량계 종류	6
표 2.3 통신 전송속도에 따른 PLC 분류	7
표 3.1 전선 종류별 고유값	14
표 3.2 전선 종류별 특성값 산출결과	15
표 4.1 현장측정 대상지역 선정	20
표 4.2 통신성능 측정항목 및 방법	21
표 4.3 국산 PLC통신방식의 수신감도 측정 결과	24
표 4.4 가공 및 지중선로의 기저잡음 측정결과	27
표 4.5 현장 측정지역 내역	29
표 4.6 지중지역 신호 및 잡음측정결과	31
표 4.7 가공지역 신호 및 잡음측정결과	34

그 립 목 차

그림 2.1 AMI 구성도	4
그림 2.2 단상 전자식 전력량계 구조	5
그림 2.3 PLC 송수신 방법	7
그림 2.4 저압원격검침 시스템	8
그림 3.1 전선의 설치위치에 따른 감쇠상수	11
그림 3.2 거리에 따른 신호감쇠 및 왜곡	12
그림 3.3 전력선 네트워크에서의 잡음	13
그림 3.4 특성임피던스 비교	16
그림 3.5 신호감쇠 정수 비교	18
그림 4.1 주파수 분석기	20
그림 4.2 신호 발생기	21
그림 4.3 PLC 통신모뎀 시험 구성도	23
그림 4.4 국산 PLC 송신 출력	23
그림 4.5 저압선로 현장실증 사진	26
그림 4.6 PLC 신호 감쇠 측정 구성도	27
그림 4.7 가공 및 지중선로에서의 채널감쇠	28
그림 4.8 지중지역 현장사진 및 측정위치	30
그림 4.9 지중지역 잡음측정 그래프	32
그림 4.10 PLC대역 신호와 잡음 측정결과 화면	33
그림 4.11 가공지역 현장사진 및 측정위치	34
그림 4.12 가공지역 잡음측정 그래프	36
그림 4.13 PLC대역 신호와 잡음 측정결과 화면	37

제 1 장 서론

1.1 연구 배경 및 목적

전통적인 전력공급방식은 발전된 전력을 수용가에게 공급하는 단방향인 시스템이었다. 현재는 신재생발전과 전기차 그리고 전기저장장치까지 고객이 직접 발전을 하거나 잉여전력을 저장했다가 전력계통에 공급하고 자유롭게 전력을 사고 팔수 있는 양방향 전력망 시스템으로 변해가고 있다. 안정적 전력공급을 위해서는 정확한 수요예측이 필요하다. 또한, 전력사용량을 예측하고 수용가의 발전량을 모니터링하기 위해서는 시간대별 전력사용량 정보의 취득과 분석이 중요하다. 이를 실현하기 위해서는 지능화된 전력망 구성이 필수적이다. 전력계통의 최말단에 위치한 수용가의 전력사용량 정보를 취득하기 위해 지능형전력계량인프라(AMI : Advanced Metering Infrastructure) 구축을 추진하고 있다. AMI 구축을 위해서는 기존의 기계식 전력량계를 기능이 향상된 전자식 전력량계로 교체하고, 여기에 통신을 연결해 계량데이터를 원격으로 취득할 수 있는 검침서버 등을 설치해야 한다. AMI는 수용가에서 소비하는 전력량뿐만 아니라 태양광에서 생산되거나 전기자동차 배터리를 통해서 발전되는 전력량까지도 계량할 수 있는 양방향 시스템이다. 또한, AMI는 수용가의 전압과 전류값 정보도 측정할 수 있어 전력계통의 신뢰도를 향상시킬 수 있다. 이러한 전력량계의 전력사용량 정보나 전기품질 데이터를 원격으로 취득하기 위해서는 신뢰성과 경제성이 우수한 통신망이 필요하다. 전기사용량이 많은 고압 고객의 경우 이동통신사의 LTE 통신방식을 이용해서 계량데이터를 취득하고 있다. 월 회선이용요금이 비싸지만 통신 신뢰도 측면에서는 우수한 장점을 가지고 있기 때문이다. 반면에 전기사용량이 적은 주택용 고객의 경우에는 통신비가 높은 이동통신망을 이용하기에는 경제적인 부분에서 많은 제약사항이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 전력선 통신방식(PLC : Power Line Communication)을 도입하였다. 이러한 PLC방식은 별도의 통신선을 설치하지 않고, 전력을

공급하기 위해 설치된 전력선을 이용해서 계량데이터를 주고받을 수 있기 때문에 다른 통신방식보다 넓은 지역에 사용할 수 있다[1]. PLC 통신 방식은 AMI구축과 경제성 측면에서 좋은 장점을 가지고 있다. 하지만, 전력선을 이용해서 계량데이터를 원격으로 취득하다 보면 여러 가지 문제가 발생하였다. 전력선의 설치형태와 각종 부하에 따른 임피던스의 변화, 심각한 형태의 노이즈 그리고, 높은 감쇠에 의해서 통신성능에 많은 영향을 미치고 있다[2]. 현재 우리나라에서도 AMI 구축을 위해 다양한 유무선 통신방식을 검토하고 현장에 적용하고 있지만, 2010년부터 2016년까지는 주로 순수하게 국내기술로 개발된 PLC방식을 사용했다. 국내에서 사용하고 있는 PLC방식은 2010년부터 상용화 되어 현재까지 사용하고 있다. 해외에서 사용하는 PLC방식은 우리나라 방식과 기본 원리는 같지만, 데이터를 송수신하는 방식이나 사용하는 주파수대역, 통신속도 등에서 차이가 있다. 현재 우리나라에 설치된 PLC방식은 가공으로 설치된 전력선에서는 통신성능이 양호했지만 지중으로 매설된 전력선에서는 통신성능이 불량한 특징을 보였다. 전력량계에서 생성한 계량데이터를 PLC모뎀을 통해 데이터 집중장치까지 전송하는 단계에서 전력선이 지중에 매설되어 있는 경우에는 데이터의 손실률이 높아 정상적으로 데이터를 전송할 수 없었다. 그래서 국내에서는 대부분 가공지역 위주로 PLC방식을 설치하고 있다. 지중지역에서 PLC방식의 통신성능에 미치는 영향을 분석함으로써 PLC방식 본래의 특징은 물론 통신의 문제점까지도 확인할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 AMI 시스템의 주요 구성 요소인 전력량계와 통신설비 그리고 운영시스템의 주요기능을 검토하여 현재 운영중인 AMI 시스템을 분석하였다. 또한 지중지역에서 PLC방식의 통신성능에 영향을 미치는 여러 가지 원인을 조사하였으며, 저압 전력선의 선종별 고유값 등을 이용하여 신호특성의 변화를 전자기 과도해석 프로그램(EMTP : Electromagnetic Transients Program)을 이용하여 분석하였다. 그리고, 저압 전력선이 설치된 환경에 따라 PLC 통신방식의 통신성능에 미치는 영향을 분석하였다.

1.2 논문의 구성 및 개요

본 논문에서는 지능형전력계량 시스템의 구성요소 중 하나인 전력선 통신방식의 지중지역에서 영향을 분석하였다. AMI 구축사업을 추진하는데 있어 지중지역에서 PLC통신방식의 장애요소와 문제점을 분석하고 연구하였다. 본 논문은 다음과 같이 구성하였다.

- 제 1장에서는 본 논문의 연구 배경 및 목적, 그리고 논문의 구성과 개요에 대해 살펴보았다.

- 제 2장에서는 PLC 통신방식의 구성요소에 대해 분석했다. 전력량계의 기능과 종류, 전력선 통신방식의 원리와 현황 그리고, 저압 원격검침 시스템의 구성에 대해서 기술하였다.

- 제 3장에서는 지중지역에서 PLC 통신방식에 영향을 미치는 원인에 대해 설치환경과 시설위치로 구분해서 분석하였고, 전력선 선종에 따라 변하는 특성값을 산출해 PLC 통신방식에 미치는 영향을 확인하였다.

- 제 4장에서는 PLC 통신방식의 현장 성능시험을 시행하였다. 대상 지역을 선정하고 실제 가공 및 지중지역에서 전선의 종류와 거리에 따른 PLC 통신방식의 영향을 비교 분석하였다.

- 제 5장에서는 지중지역에서 PLC 통신방식에 미치는 이론적 분석과 현장에서 실험한 결과의 비교 분석을 통해 최종 결론을 도출했다. 그리고, 본 연구의 최종 결론과 향후 연구방향에 대해서 기술하였다.

제 2 장 PLC 통신방식의 구성요소

2.1 AMI 시스템과 전력량계

그림 2.1은 전력량계와 통신설비 그리고 운영시스템으로 이루어진 AMI 시스템의 구성도이다. 소비자의 전기사용량을 계측하기 위해서는 부설된 전력량계를 통신이 가능한 전자식 전력량계로 교체하고, 여기에 통신모뎀을 설치함으로써 원격으로 계량데이터를 수집할 수 있다. 검침 서버에 수집된 계량데이터는 운영프로그램을 활용하여 전기사용량 분석이나 소비자에게 다양한 정보를 제공한다.

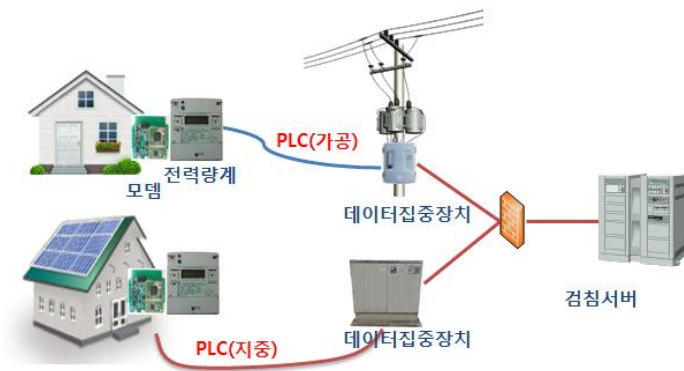


그림 2.1 AMI 구성도

전력계통의 끝단이자 소비자의 초입에 설치되는 전력량계는 전력거래를 위한 필수설비로써의 역할을 해왔다. 전통적인 방식의 기계식 전력량계는 전기의 흐름에 따라 발생하는 와전류가 전력량계의 원판을 회전시켜 소비자의 전기사용량을 측정했지만, ‘10년 부터는 전자식 전력량계가 개발되어, 그림 2.2와 같이 전압의 크기와 전류흐름에 따라 반도체에서 발생시키는 펄스의 양을 측정해서 전기사용량 정보를 알 수 있게 되었다. 또한 표 2.1에서 보는 것처럼 전자식 전력량계 도입으로 다양한 기능을 하나의 전력량계에서 수행할 수 있다.

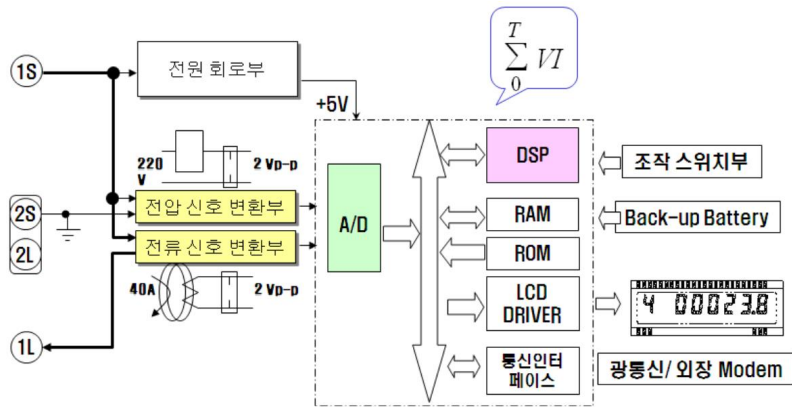


그림 2.2 단상 전자식 전력량계 구조

이외에도 전기사용량을 일정한 주기로 나누어 저장할 수 있으며, 소비자의 발전량과 수전량을 양방향으로 모두 계량할 수 있다. 또한, 자기진단기능이 있어 오결선이나 전력량계 단자커버 열림, 외부 자계감지, 과전류 감지 등의 부가적인 기능이 가능하며 통신기기와 연결시 원격으로 모든 기능을 수행할 수 있다.





표 2.1 전력량계 기능비교

구 분	기계식 전력량계	전자식 전력량계
기 능	유효전력량	유효, 무효, 피상전력 시간대별 사용량 정보 최대수요, 정전정보

현재 우리나라에서 AMI 보급을 위해 사용하고 있는 전력량계는 표 2.2와 같이 크게 4가지 종류로 나눌 수 있다. 2006년 표준형 전력량계가 최초로 사용된 이후 2010년 E-Type 전력량계가 추가로 사용되었으며, 2011년 부터는 기계식 전력량계는 더 이상 사용하지 않게 되었다. 이후 전력량계 기능과 성능이 향상된 G-Type 전력량계를 2015년부터 사용하면서 기존의 표준형 전력량계를 대체하게 되었다. 그리고 2016년 부터는

E-Type을 대체할 AE-Type 전력량계를 본격적으로 사용하게 되어 전력량계의 세대교체가 이루어지고 있다. 향후에는 전력량계의 정보보호 강화를 위해 암호모듈이 탑재된 전력량계를 개발하고 2020년 이후부터 본격적으로 사용할 계획이다.

표 2.2 전력량계 종류

구 분	E-type	표준형(단종)	AE-Type	G-Type
외 형				
설치대상	단상 5kW이하	단상 5kW 초과, 삼상고객	단상 10kW이하	단상 10kW 초과, 삼상고객

2.2 PLC 통신방식과 현황

수용가에게 전기를 전송하기 위해 설치된 저압 배전선에 그림 2.3과 같이 수십 kHz에서 수백 MHz의 통신 신호를 중첩하여 전송하는 기술이 전력선 통신이다. 전력선 통신은 별도의 광케이블이나 동축케이블 설치없이 원격검침 통신망을 구축할 수 있다. 2000년 이후 세계 전력회사들이 전력선 통신기술 기반의 원격검침 통신망 구축에 관심을 가지기 시작했다. 2005년 세계 최대 전력회사인 이탈리아의 Enel社가 2,700만 모든 수용가의 원격검침 통신망을 전력선 통신방식으로 최초로 구축하였다. 우리나라에서도 전력선 통신방식에 대해서 대책 연구과제를 시작으로 활발하게 연구가 진행되었으며, 젤라인社와 여러기관이 참여해 개발한 국산 고속 PLC 통신방식을 국가표준으로 등록하였다.

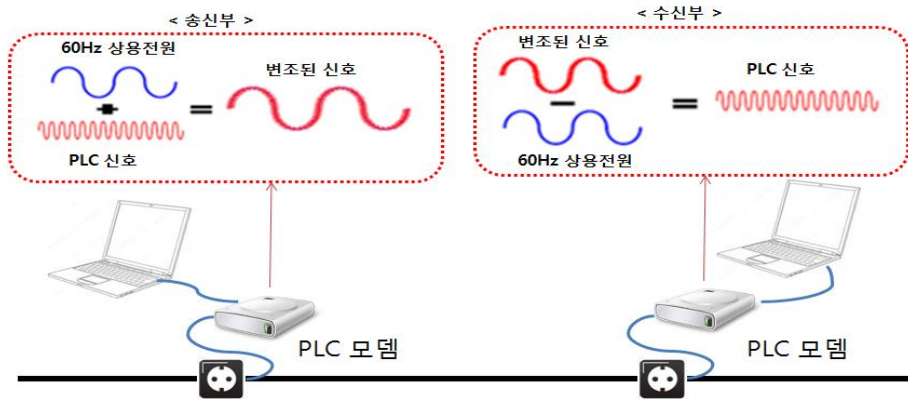


그림 2.3 PLC 송수신 방법

전력선 통신방식의 구분은 사용하는 전력선의 공칭 전압을 기준으로 저압 및 특고압 PLC로 구분한다. 또한, 통신 전송속도 1Mbps를 기준으로 표 2.3과 같이 저속 PLC와 고속 PLC로 구분할 수 있다. 우리나라는 저압 인입선을 사용하고 있으며, 통신속도는 고속 PLC방식을 채택해서 2010년부터 적용하고 있다.

표 2.3 통신 전송속도에 따른 PLC 분류

구 분	통신속도	주파수 대역	사용 용도
저속PLC	1Mbps 미만	10~450KHz	음성통신, 기기제어
고속PLC	1Mbps 이상	1~30MHz	멀티미디어, 제어

하지만, 전력선통신 기술에도 여러 가지 단점을 가지고 있다. 전력을 공급하기 위해 설치한 저압 인입선의 사용은 경제성과 편리성 측면에서는 우수하나 통신 측면에서는 많은 장애요인으로 작용하였다. 전력선 자체는 통신 채널에 미치는 영향이나 특성면에서 전용통신선보다 성능이 현저히 떨어진다. 전력선은 60Hz에 최적화 되어있으며, 전력선에 연결된 분기선로에 의한 신호감쇠나 분기선로에 연결된 전기기기들의 임펄스 노이즈는 통신을 하는데 가장 큰 걸림돌로 작용하고 있다. 전력선의 이러

한 특성으로 인해, 상대적으로 고주파 신호인 통신 신호는 주파수가 증가함에 따라 큰 감쇠를 겪게 되고, 분기에 의한 신호 손실과 왜곡을 감수해야 한다. 전기에너지 전달 과정에서 발생하는 열에 의한 배경잡음과 함께 절연 피복으로는 막을 수 없는 외부로부터의 다양한 간섭 신호들을 극복해야 한다. 현재의 전력선통신은 디지털 통신 기술을 통해 이러한 문제점들을 부분적으로 극복해 나가고 있으며, 시간이 지날수록 성능은 향상되고 있다.

2.3 저압 원격검침 시스템 구성

그림 2.4는 전력량계, 통신모뎀, 데이터 집중장치(DCU : Data Concentrate Unit), 그리고, 운영시스템으로 구성된 저압원격검침의 구성이다. 그림과 같이 시스템 구성은 데이터 집중장치(DCU)를 기준으로 전력량계 구간은 인입망, 검침서버 구간은 간선망으로 구분할 수 있다.

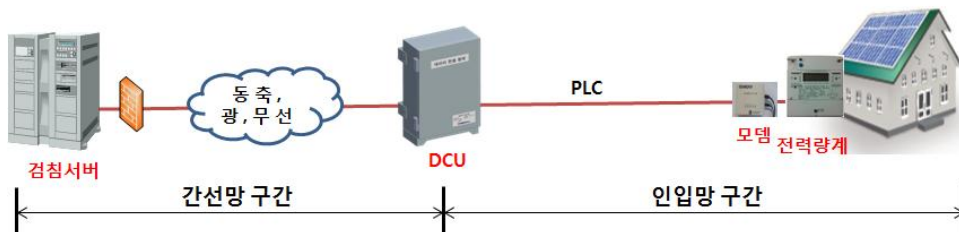


그림 2.4 저압원격검침 시스템

본 연구에서 분석하고자 하는 구간은 인입망 구간에서의 전력선 통신 영향 분석이다. 간선망 구간은 이동통신사의 LTE 통신방식이나, 유선통신사의 광, 동축케이블을 이용하기 때문에 AMI 통신성능에 미치는 영향은 없다. 반면에 전력선을 이용한 PLC통신은 전력량계에서부터 DCU 구간에 사용하고 있으며, 전력 공급과 데이터 통신을 동시에 수행해야 하기 때문에 통신성능에 많은 영향을 받고 있다. 인입망 통신에 사용되는 통신방식은 PLC방식과 무선방식이 있다. 본 연구에서는 국내에서 가장 많이 사용되고 있고, 보급률이 높은 국산 PLC 통신방식에 대해서 분석

하였다.

저압원격검침 시스템의 데이터의 흐름은 다음과 같은 특성을 갖고 있다.

- 전력량계에서 생성되는 전기사용량이나 전압/전류값, 전력량계 상태값 등의 데이터가 전력량계와 연결된 통신모뎀을 통해서 원격으로 검침된다.
- 외장형 통신모뎀은 모뎀 한대로 30대의 전력량계까지 연결할 수 있으며, RS-485 통신 케이블로 연결한다. 통신모뎀은 이렇게 수집된 계량데이터를 변압기에 설치된 데이터 집중장치로 전송하게 된다.
- DCU는 모뎀에서 수집한 계량데이터를 200대까지 수용할 수 있고, 데이터를 30일정도 저장할 수 있다. 데이터 집중장치에 저장된 계량데이터는 최종적으로 검침서버로 보내는 구조이다.

제 3 장 지중지역 PLC통신 영향분석

3.1 PLC 통신에 미치는 영향과 요소

스마트그리드 AMI 통신망을 구축하기 위해 유럽에서는 전력선 통신 방식의 주파수대역을 154~477 kHz의 협대역을 사용하고 있으며, 우리나라에서는 1~30MHz의 광대역을 사용하고 있다. 광대역의 장점으로는 통신속도가 빨라 원격검침 정보 이외의 다양한 부가 서비스 제공이 가능하다. 그러나, 1~30MHz 주파수 범위에서의 PLC 신호 전송은 특정 주파수 대역에서의 다양한 통신 시스템인 방송, 아마추어 무선, 휴대폰 재난 주파수, 우주탐사, 천문, 군사통신과 잠재적인 간섭을 만들고 증가시킨다. 또한, 옥외에서 사용하는 전력선 통신방식은 지상과의 상호작용에 의해 상호임피던스까지 만들어진다[3]. 이렇게 배전선로에 연계되어 있는 전력선 통신은 다양한 환경특성에 의해 영향을 받고 있으며, 특히 지중지역에서의 저압선로의 길이, 분기된 선로의 수, 전력선에 유입되는 불특정 노이즈가 AMI를 위해 사용되는 전력선 통신에 영향을 미치고 있다.

3.1.1 시설위치에 따른 신호특성

저압 전력선은 주로 가공지역에 설치되어 있지만, 최근 들어서고 있는 신도시의 경우에는 지중지역에 매설하는 방법으로 전기를 공급하고 있다. 이렇게 전력선이 시설된 위치에 따라서 전력선 통신에 미치는 영향은 다르게 나타난다. 전력선이 지중에 매설되어 있을 경우의 전자기파는 전력선과 땅사이로 전송되며, 땅의 유전율 때문에 파장도 변경된다. 이는 장경간 전력선이 지중에 매설되어 있는 경우가 지반의 특성에 따라 장거리 방사에 더 많은 영향을 받기 때문이다[3]. 전선이 가공에 설치된 경우와 지중에 매입된 경우 감쇠상수(dB/km)의 차이가 발생한다. 그림 3.3은 지중에 시설된 경우 감쇠계수가 100dB정도 높은 것을 보여주고 있다[7].

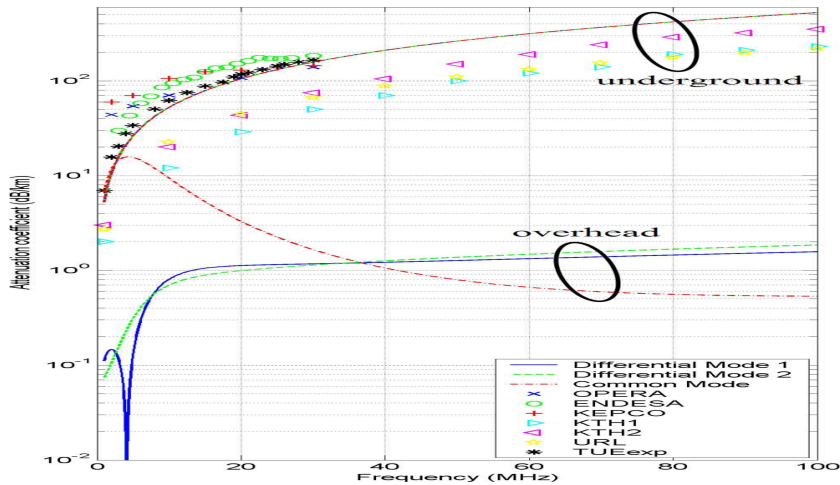
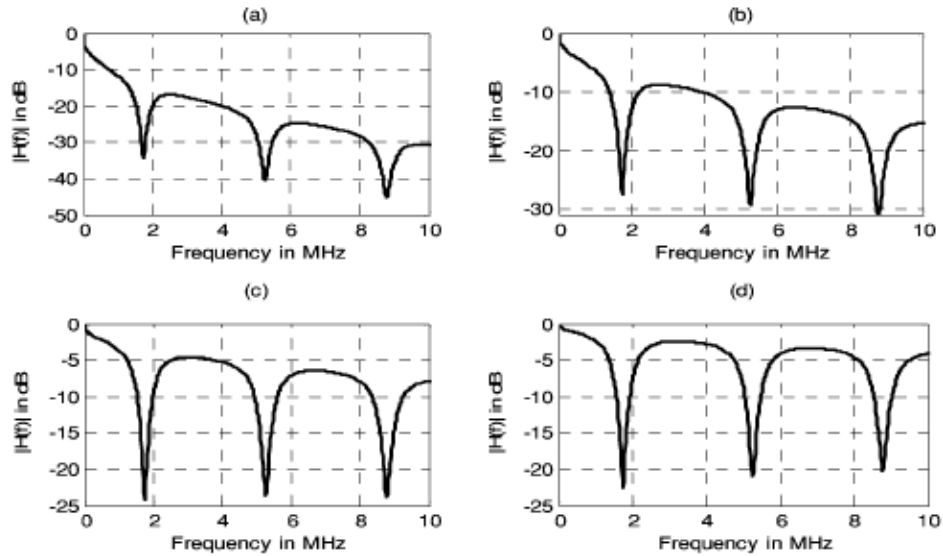


그림 3.1 전선의 설치위치에 따른 감쇠상수

3.1.2 설치환경에 따른 신호 특성

PLC 통신방식의 특성상 변압기에서 저압 전력선을 통해 전력을 공급하고 있는 모든 고객에게 통신신호를 송수신 할 수 있다. 하지만, 수많은 저압 전력선의 설치환경에 따른 특성에 따라서 통신신호의 특성이 달라 진다. 변압기에 설치된 데이터 집중장치에서부터 전력량계에 설치된 모듈까지의 거리, 변압기에서 분기된 저압선로의 수 그리고, 전력선에 유입되는 노이즈에 대한 이론적 영향을 분석 연구하였다.

(1) 저압전력선의 거리의 증가에 따른 통신신호의 특성을 비교 분석하였다. 저압 지중케이블에서 두 통신단자간의 거리를 증가 시켰을 때 신호의 피크나 노치의 위치는 변동이 없었다. 하지만 거리가 증가하고 주파수가 높을수록 신호감쇠는 그림 3.1과 같이 커지는 것으로 나타났다 [4]. 또한 지중케이블에서의 신호 감쇠와 왜곡은 선로의 길이에 비례해서 발생하는 것을 알 수 있다.



(a)1.2km, (b)600m, (c) 300M, (d) 150M

그림 3.2 거리에 따른 신호감쇠 및 왜곡

(2) 저압선로에서 분기된 선로수의 증가에 따른 신호 감쇠의 영향을 비교하였다. 저압선로에서 분기된 선로가 많을수록 PLC 신호의 감쇠가 증가하는 것을 알 수 있다. 분기된 선로에서는 송신단과 수신단 사이에서 반송파가 발생하고, 신호의 반송파는 저압선로에서 임피던스 불일치와 전송 손실을 발생시켰다[5]. 분기된 저압선로의 수 이상으로 반송파가 발생되고 이는 신호의 감쇠는 물론 통신을 어렵게 만들기도 한다. 지중 저압 배전선로의 특성상 변압기에서부터 말단 고객까지의 저압 배전선로는 수 많은 분기선로로 연결되어 있어 전력선 통신에 있어 신호의 손실이 큰 편이다.

(3) 노이즈가 전력선 통신에 미치는 영향에 대해서 검토하였다. 전기를 공급하기 위해 설치된 전력선은 외부의 노이즈 유입을 차단하기 위한 방안이 마련되어 있지 않다. 이렇게 전자기 차폐가 없는 저압 전력선은 항상 외부에 노출되어 있고 부하설비와 연결되어 있어 라디오 주파수나 전자기계 장치에서 발생하는 외부 노이즈에 민감하며 전자계 간섭의 문

제점이 있다. 전력선 통신 시스템에서 노이즈는 3가지로 분류할 수 있다. 혼합된 배경잡음, 주파수 잡음, 그리고 임펄스 노이즈로 구분할 수 있다 [6]. 혼합된 배경잡음은 저전력의 다양한 노이즈 소스에서 발생하는 노이즈의 전체 합으로 나타낼 수 있다. 공장이나 주택가, 상가등 지역적 특성에 따라 배경잡음은 달라지고, 시간의 변화에 의해서도 큰 차이가 있다. 주파수 잡음은 항상 존재하고 있으며 통신을 하는데 큰 영향을 주지는 않는다. 배경잡음의 주파수에 따른 전력밀도분포(PSD)는 그림 3.2와 같이 -145dBm/Hz 정도인 것을 알 수 있다[4].

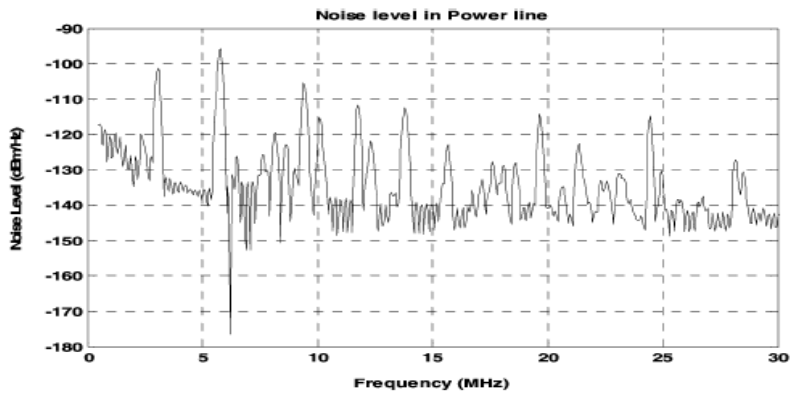


그림 3.3 전력선 네트워크에서의 잡음

임펄스 노이즈는 공급주파수에 곱해져서 주기적으로 반복되는 성분과 비주기적으로 발생하는 성분으로 나눌 수 있다[5]. 비주기적인 성분은 전력선에 연결된 다양한 전기부하의 빈번한 개폐(on/off)에 의해서 유입된다. 그리고, 동력설비와 같은 유도성 부하의 운전과 정지시 유입되며 임펄스노이즈는 전력선통신 잡음 중에서도 가장 나쁜 요소로 작용한다.

3.2 전력선 선종에 따른 영향분석

저압 전력선은 설치되는 공간에 따라 그 종류가 다르고, 부하의 크기에 따라 달라진다. 가공지역에서는 OW전선이나 OC 전선을 주로 사용지만, 지중지역에서는 지중용 CV케이블을 사용한다. 표 3.1과 같이케이블의 종류에 따라 도체의 단면적과 외경, 절연체 두께와 전선의 저항도 각기 다른 값을 가진다. 표 3.2는 저압계통에서 사용되는 전력선의 특성에 따른 값을 EMTP/LCC 프로그램을 이용해 평균값에 대한 특성임피던스와 감쇠계수를 구한 값이다. 이를 기본으로 전력선 통신에서 주파수, 가공 및 지중전선에서의 차이점을 다음과 같이 분석하였다.

표 3.1 전선 종류별 고유값

구분	도 체		절연체두께 (mm)	시스두께 (mm)	완성품외경 (mm)	도체저항 (Ω/km)
	단면적 (mm^2)	외경 (mm)				
OW	100	13	1.5	-	16	0.185
	60	10	1.4	-	13	0.313
	38	7.8	1.4	-	11	0.502
	22	6	1.2	-	8.4	0.849
OC	58	9.7		-	15.7	0.512
	32	7.2		-	13.2	0.928
CV (지중)	240	18.3	1.7	1.7	27	0.0754
	120	12.9	1.2	1.5	20	0.153
	70	9.8	1.1	1.4	16	0.268
	35	6.9	0.9	1.4	13	0.524
	25	5.9	0.9	1.4	12	0.727
C2 (가공)	120	12.9	1.2	2	38	0.153
	70	9.8	1.1	1.8	31	0.268
	35	6.9	0.9	1.8	24	0.524
	25	5.9	0.9	1.8	22	0.727

전력선의 선종별 고유값과 전선의 설치위치는 8.08m, 심선배열은 2C 수평, 4C 마름모, 대지고유저항은 200Ω의 값을 계산조건으로 입력하고, 전선 종류별 특성값을 표 3.2와 같이 산출하였다.

표 3.2 전선 종류별 특성값 산출결과

구분	선종	Zs(Ω)		감쇠정수(dB/km)	
		@400 kHz	@12 MHz	@400 kHz	@12 MHz
가공 전선	OW100	350	346	0.6	6.1
	OW60	370	366	0.6	6.3
	OW38	389	384	0.7	6.4
	OW22	408	403	0.7	6.6
	OC58	372	368	0.7	6.4
	OC32	395	390	0.7	6.6
	2C120	351	347	0.6	6.1
	2C70	372	367	0.6	6.3
	2C35	398	393	0.7	6.4
	2C25	410	405	0.7	6.5
	평 균	381	377	0.7	6.4
지중 전선	CV240	35	35	1.6	52.6
	CV120	38	38	1.7	48.4
	CV70	41	41	1.8	46.1
	CV35	49	49	2.0	44.6
	CV25	54	53	2.1	44.4
	평 균	44	43	1.8	47.2

(1) 특성임피던스(Z_s)의 차이에 의해서 발생하는 신호감쇠특성을 비교하였다. 장거리 송전선로의 전파 방정식을 유도하면 특성임피던스와 전파정수를 구할 수 있다. 식(3.1)은 특성(파동)임피던스를 구하는 식으로 선로의 길이에 무관한 인덕턴스와 커패시턴스로부터 구할 수 있다.

$$\dot{Z}_s = \sqrt{\frac{\dot{Z}(\omega)}{\dot{Y}(\omega)}} = \sqrt{\frac{r + j\omega L}{g + j\omega C}} \doteq \sqrt{\frac{L}{C}} [\Omega] \quad (3.1)$$

단, r (저항)과 g (누설 컨덕턴스)를 무시함.

인덕턴스 L 성분에 비례하고, 커패시턴스 C 성분에 반비례함을 알 수 있다[8]. 식(3.1)의 L 과 C 성분 중 C 성분은 전선의 종류에 따라 유전율의 영향을 받는다. 가공전선의 경우 1이지만, 지중전선의 경우는 5~15정도로 표 3.2와 같이 가공전선이 지중전선에 비해 특성임피던스가 8.8배정도 큰 것을 알 수 있다[9]. 그러나, 그림 3.4와 같이 주파수 변화에 의한 임피던스 변화는 거의 없었다.

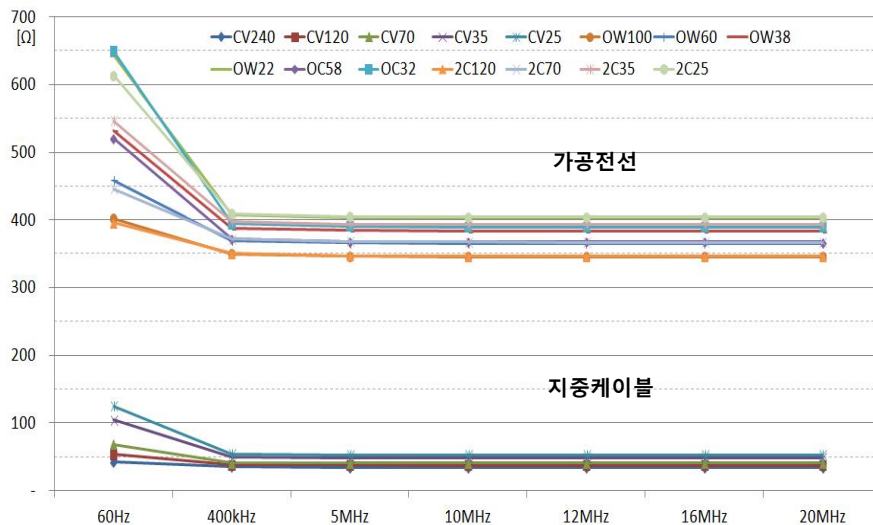


그림 3.4 특성임피던스 비교

(2) 감쇠계수가 미치는 영향에 대해서 분석하였다. 식(3.2)는 전파방정식으로부터 구한 전파정수이다[10].

$$\begin{aligned}\dot{\gamma} &= \sqrt{\dot{Z}(\omega)\dot{Y}(\omega)} \\ &= \sqrt{(r+jX)(g+jB)}\end{aligned}\quad (3.2)$$

식(3.2)는 여러 단계를 거쳐 식(3.3)과 같이 유도할 수 있다.

$$\dot{\gamma} = \alpha + j\beta \quad (3.3)$$

단, α 는 감쇠정수이고, β 는 위상정수이다.

식(3.3)은 이항식 전개에 의하여 확장될 수 있고, 대부분의 실제적인 용도에 대해서는 식(3.4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\alpha \simeq \frac{r}{2Z_s} + \frac{gZ_s}{2} \quad (3.4)$$

대부분 실제적인 라인에서는 g 가 아주 작기($g=0$) 때문에 식(3.5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\alpha = \frac{r}{2Z_s} \text{ [Nepers/m]} \quad (3.5)$$

r 은 전선종류에 따른 단위 길이당 고유 저항값 [Ω/m]을 가지고 있어 감쇠정수 α 는 단위 길이당 신호 감쇠의 정도를 나타내는 감쇠계수[Nepers/m]로 표현할 수 있다[11]. 그리고, [Nepers/m] 값은 [dB/m] 값으로 전환하기 위해서 식(3.6)과 같이 8.686배를 곱해서 쉽게 변환할 수 있다.

$$\begin{aligned}\alpha(\text{dB/m}) &= \alpha \times 20\log(e) \\ &= 8.686 \times \alpha\end{aligned}\quad (3.6)$$

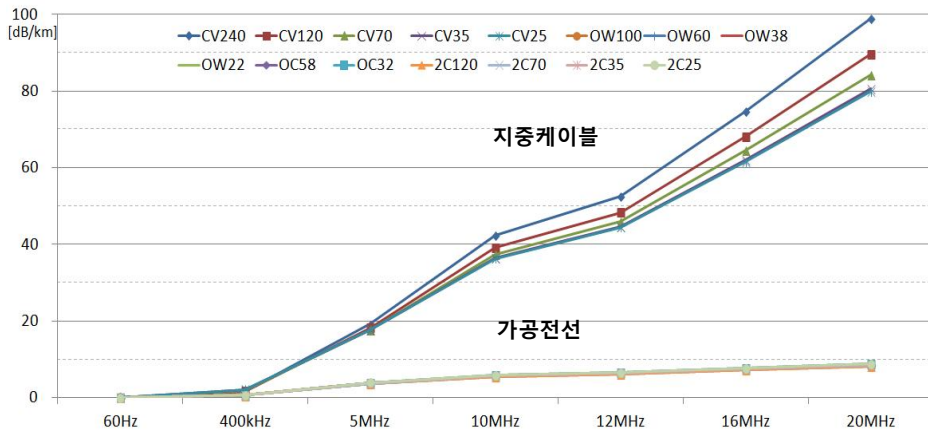


그림 3.5 신호감쇠 정수 비교

이를 종합해보면 전력선 통신에 영향을 미치는 환경적 요소는 전력선의 거리에 따른 감쇠 영향이 있었다. 그리고, 전력선의 분기 수에 따른 반송파 발생과 임피던스 불일치로 전송손실이 발생했으며, 전력선에 유입되는 노이즈에 의해서 전력선 통신에 많은 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 또한, 가공지역과 지중지역에 사용하는 전선의 고유값을 바탕으로 특성임피던스와 감쇠계수를 분석하였다. 분석결과 가공전선에 비해 지중케이블이 전력선 통신에 있어서는 신호감쇠 등이 커 통신성능에 취약하다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 앞서 시행한 이론적 분석과 더불어 다음절에서는 실제 가공 및 지중지역에서의 실증을 통해 PLC통신방식의 영향을 시험하였다.

제 4 장 PLC통신 영향분석 사례연구

4.1 PLC 실증대상 선정과 성능시험

본 연구는 위에서 분석된 이론적 근거를 바탕으로 실제 현장에서 설치되어 운영 중인 저압 전력선을 대상으로 지중지역 PLC통신방식의 영향을 분석하였으며, 성능시험 과정은 다음과 같다.

(1) 현장측정은 국산 PLC 통신방식의 통신성능을 시험하기 위해 LAB에서 강제로 신호를 감쇠시켜 가면서 통신성공률을 측정하였다.

(2) 가공전선과 지중케이블을 현장에 각각 설치하고 부하를 연결하지 않은 상태에서 신호를 인가했을 때 전선의 종류에 따라서 신호의 변화 여부를 확인하였다.

(3) 이를 통해 외부로부터 영향을 받지 않는 환경에서 PLC 통신방식의 성능을 확인 할 수 있었으며, 이 값을 기준으로 실제 현장에서 실증한 결과 값과의 비교를 통해서 PLC 통신에 미치는 영향을 확인할 수 있었다.

4.1.1 대상지역 선정 및 측정 장비

현장측정을 위해서 대상지역에 대한 선정기준을 수립하고 지역을 분류하였다. 현재 AMI가 구축되어 운영 중인 지역은 성능 평가시 실험 결과에 영향을 미칠 수 있기 때문에 AMI가 구축되어 있지 않은 지역을 대상으로 선정하였다. 대상지역 선정을 위한 표본 추출방법은 두가지 방법이 있다. (1) 동일률 적용법으로 현장 중심의 분석을 위한 방법으로 이용 (2) 수용가 분포에 따라 표본을 추출 방법으로 실제 가구 수에 중심을 두어 표본을 추출하는 방법이다. 본 연구에서는 (1)의 방법인 현장중심의 표본대상 대표지역을 한 개소씩 선정하였다.

대상지역은 저압배전선로의 설치 유형별로 가공지역과 지중지역으로 구분하였다. 수용가 선정은 한전에서 운영하고 있는 신 배전 정보시스템 (NDIS : New Distribution Information System) 도면을 활용하여 고객호수와 저압배전선 설치 유형을 분류하였다. 그리고, 정부의 국토정보 지리에 기반하여 상가나 주거지역 등을 구분하였고, 변압기에서부터 수용가까지의 거리 데이터를 확인하였다. 대상지역은 표 4.1와 같이 총 2개의 측정 지역을 선정하였다.

표 4.1 현장측정 대상지역 선정

전기공급	개소	주거형태	비고
지중지역	1	상가 지역	
가공지역	1	주거 지역	
합계	2	-	

통신 측정용 계측기는 그림 4.1의 주파수 분석기와 그림 4.2의 신호발생기를 사용하였으며, 주요 사양은 아래와 같다.



○ 모델 : N9020A, 주파수 범위 : 10Hz ~ 26.5 GHz

그림 4.1 주파수 분석기



○ 모델 : N5182A, 주파수 : 100kHz~12GHz, 출력 : -25~23dBm

그림 4.2 신호 발생기

4.1.2 통신성능 측정항목 및 내역

국산 PLC 통신방식의 모델 송신출력을 측정하기 위해 신호발생기로 1.5 ~ 28MHz의 PLC 신호 대역에 해당되는 주파수를 일정시간 동안 주파수를 변화시키는 전자빔 형식의 스위프(sweep)방식으로 송신하였다. 신호와 잡음의 구분을 명확하게 하기 위해 신호발생기 출력은 20dBm으로 했으며, 기저대역의 잡음 측정을 위해 1 ~ 30MHz의 PLC 대역 신호 측정을 평균값과 최대값(max hold)측정을 시행하였다. 표 4.2는 통신성능 측정항목 및 방법이다.

표 4.2 통신성능 측정항목 및 방법

측정 항목	측정 방법	장 소
시료 송신출력 측정	중계기 Preamble 기능활용 중계기-감쇠기-SA(Spectrum Analyzer)	LAB Test
기저대역 잡음레벨 (수신감도 : dBm)	변대주 밀과 수용가 전력량계에 SA를 설치하고기저대역의 Noise를 측정	현장 측정
PLC신호 측정	수용가측 계량기에서 PLC 신호 측정	현장 측정
거리별 신호감쇠 측정	변대주 밀의 SA와 동일한 출력의 SG를 이동시켜 거리별 신호감쇠 측정	현장 측정

DCU는 변압기에 설치되고, 통신모뎀은 전력량계에 설치되기 때문에 현

장 측정위치는 변압기와 전력량계에서 측정하였다. PLC 신호측정을 위한 설정으로 신호발생기(이하 SG)의 주파수 변화(sweep)는 1.5 ~ 28MHz에 1,001개 점(point)의 선형 스위프 신호를 20dBm의 출력으로 송신하였다. 주파수 분석기(이하 SA)의 설정은 PLC 측정용 주파수 대역인 1.0 ~ 30MHz, 대역폭(RBW)은 10kHz 및 30kHz로, 주파수 진폭(amplitude)은 10dBm로, 샘플링 포인트 수는 1,001개로 설정하였으며, 신호 추적방법은 평균값과 최대값을 측정하였다.

기저잡음 측정은 PLC 측정용 신호 발생기의 신호출력은 개방(off)상태로, 통신 모뎀의 시료는 전원을 분리한 상태에서 측정하였다. 변대주(변압기가 설치된 배전주)와 수용가 전력량계에서는 기저잡음을 측정하고, 전력량계에서는 PLC 신호를 측정하였다.

4.1.3 국산 PLC 통신방식 성능시험

국산 PLC 통신방식의 통신 성능을 확인하기 위해 LAB Test를 시행하였다. 외부영향이 없는 상태에서 단지 신호감쇠만 주어졌을 때 통신이 가능한 수준을 파악하기 위한 시험이다. 시험장비는 측정 대상인 국산 PLC 통신모뎀의 시료와 PLC 신호를 단계적으로 낮출 수 있는 감쇠기(XTD-100P)를 이용하였다. 신호 감쇠기의 신뢰 감쇠 구간은 0dB ~ -80dB까지 가능하다. -80dB 이상의 감쇠에 대해서는 미세 누설 신호로 인해서 신호 감쇠가 어려웠다. 국산 PLC 통신방식의 연구실 성능시험에서는 아래 그림 4.3과 같이 시험 환경을 구축하였다. 국산 PLC 통신방식의 기본 성능을 측정하기 위해 국산 PLC 통신모뎀 양단간의 감쇠가 0dB인 상태에서 부터 PLC모뎀 시료의 송신 출력을 측정했다. 계속해서 PLC 신호 감쇠기를 이용하여 감쇠 정도를 -80dB까지 5dB씩 단계적으로 증가시켜 가면서 PLC 모뎀의 수신 감도를 측정하였으며, 다음 2가지 단계로 시험하였다.

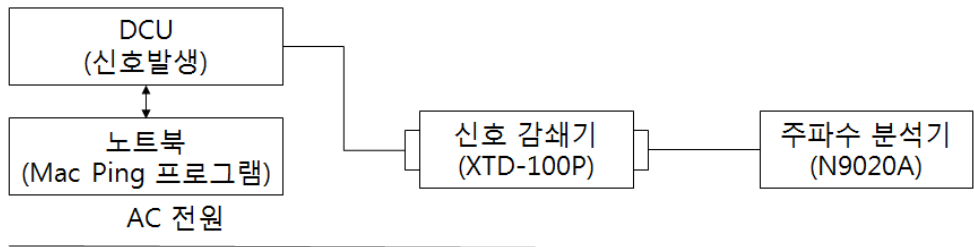


그림 4.3 PLC 통신모뎀 시험 구성도

(1) 감쇠가 없는 상황에서 국산 PLC 통신방식의 송신출력을 측정하였다. 그림 4.4는 국산 PLC 통신방식의 송신 출력을 주파수 분석기로 측정한 결과이다. 국산 PLC 통신방식의 경우 전파법에서는 방사성 전계 강도로 허용치를 규정하고 있으며, 실제로 통신을 위해 사용하는 주파수 대역은 2 ~ 28MHz구간이다. 그 중에서도 사용 금지대역이 존재하여 중간 중간 주파수를 사용하지 않아 출력이 줄어드는 구간을 확인할 수 있었다.

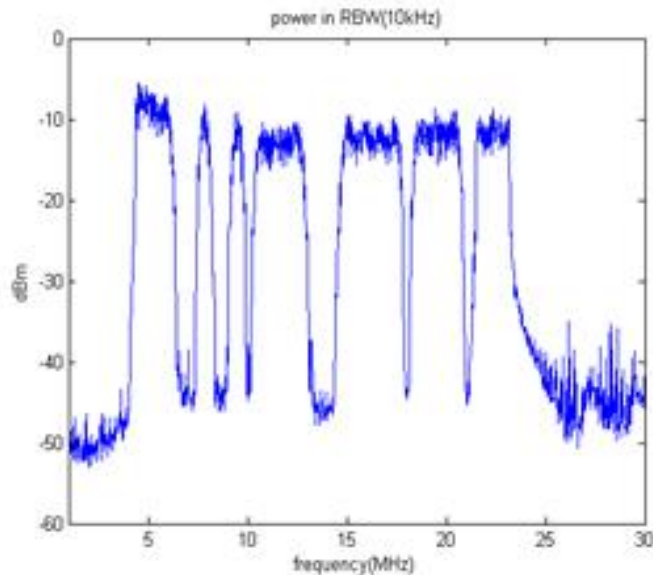


그림 4.4 국산 PLC 송신 출력

(2) 감쇠기(XTD-100P)의 단계를 5dB씩 증가시키면서 국산 PLC 통신방식의 성능을 측정했다. 측정 결과는 표 4.3과 같다. 128 바이트의 데이터(payload)를 모뎀을 통해서 보냈을 때 신호가 감쇠기를 거쳐 신호분석기에 도착(MAC ping 테스트)했을 때 결과이다.

표 4.3 국산 PLC통신방식의 수신감도 측정 결과

감쇠 (dB)	측정결과 (Uplink/Downlink)						
	AGC		PHY Mbps		Latency(ms)		
					MAX	MIN	AVG
0	0	0	22.1	22.4	109	78	87
-5	4	3	23.5	23.1	109	78	83
-10	4	4	23.4	23.5	110	78	92
-15	8	8	23.6	23.6	105	52	72
-20	10	10	23.5	23.5	99	52	74
-25	12	12	23.5	23.6	104	56	77
-30	15	16	23.5	23.5	104	51	77
-35	18	18	23.5	23.5	109	52	78
-40	20	20	23.4	23.4	124	52	79
-45	23	23	23.5	23.3	99	55	75
-50	28	28	23.2	23.2	97	54	71
-55	28	28	23.1	23.1	96	53	73
-60	28	28	22.4	22.4	94	52	71
-65	28	28	20.1	20.1	109	62	91
-70	28	28	12.4	12.1	110	62	92
-75	28	28	3.8	3.8	124	62	89
-76	28	28	2.6	2.6	110	78	95
-77	28	28	2	2.2	156	63	101
-78	-	-	-	-	235	109	178
-79	-	-	-	-	226	140	184
-80	-	-	-	-	219	141	182

표 4.3에서 자동이득제어(AGC : automatic gain control)는 회로의 출력이 일정한 레벨의 범위가 되도록 자동적으로 앰프의 게인(증폭률)을 바꾸어 주는 수치로 신호 세기가 낮아질수록 높아지며, 일정 범위를 넘어서면 더 이상 신호를 증폭할 수 없게 된다. PHY Mbps는 모뎀의 물리계층에서의 전송속도를 나타내며 1초 동안 전송할 수 있는 모든 비트(bit)의 수를 뜻하며, 수치가 높을수록 전송속도가 빠른 것을 의미한다. Latency는 지연시간을 나타내며 128바이트의 데이터를 전송하기까지 걸린 시간으로 단위는 10^{-3} 초(ms)이다. 측정 결과 국산 PLC 통신방식의 수신 감도는 일반 모드에서 약 -77dB 수준까지 감쇠가 되었을 경우에도 통신이 가능한 것으로 나타났다.

4.2 PLC 통신방식 현장실증

연구실에서의 기본적인 PLC 성능실험 결과를 기준으로 실제 현장측정을 시행하였다. 전기를 사용하고 있는 가공지역과 지중지역의 장소를 선정해서 부하가 연결되어 있는 상태에서 신호를 인가했을 때 실제 신호의 변화 여부를 확인하였다.

이 연구에서는 실제 측정을 통해서 국산 PLC 통신방식의 성능을 확인하였다. 저압 배전선로에서 사용하는 전선의 종류에 따라서 통신의 신호 감쇠가 실제 일어나는지 확인했다. 또한 가공지역과 지중지역에서의 환경적 특성과 거리와 같은 물리적인 요인들이 전력선 통신에 미치는 영향에 대해서 실제 측정을 통해서 확인하였다.

4.2.1 전선종류 및 거리별 신호감쇠 측정

서울에 위치한 A사업소의 장소를 선택해서 300m 길이의 지중케이블과 가공전선을 최대한 일직선으로 포설하여 노이즈나 신호감쇠 영향을 측정하였다. 현장에 전선을 300m 일직선으로 포설할 수 없어 최대 길이가 180m인 곳까지 전선을 포설한 후 120m를 반대방향으로 그림 4.5와 같이 포설 하였다.



(a) 저압선로 현장 위성사진



(b) 저압선로 현장포설



(b) 가공선로 커플링



(c) 지중선로 커플링

그림 4.5 저압선로 현장실증 사진

전선을 포설한 후 지중과 가공선로를 가정하여 현장에서의 신호감쇠와 통신성능 측정을 시행하였다. 선로 환경은 그림 4.6과 같이 선로의 인입에는 블로킹 필터를 설치하여 외부전원으로 부터의 잡음 유입을 차단시켰다. 100m 간격으로 PLC신호를 커플링 할 수 있도록 PLC용 프로브를 설치하였다. 선로 인입에 주파수 분석기를 위치시키고 신호 발생기는 50m간격으로 이동하여 PLC 신호를 발생시켰다.

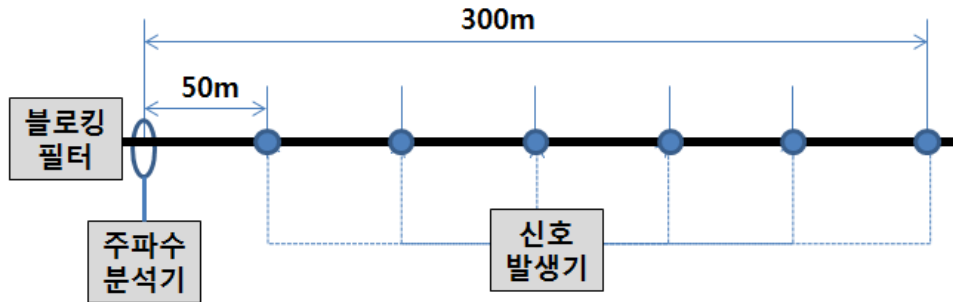


그림 4.6 PLC 신호 감쇠 측정 구성도

지중 케이블과 가공전선에 대해서 각각 선로에 유기되는 잡음을 측정하였다. 선로에는 상용전원부하가 연결되지 않았으므로 부하로부터 유기되는 잡음 신호는 없었으나 총 300m의 선로가 지상에 노출된 상태이므로 단파 안테나 역할을 하여 잡음이 유기되고 있었다. 전원에 연결시킬 때 고속PLC용 신호 차단 필터를 연결했다. 잡음은 평균과 최대피크의 2가지 잡음항목을 측정하였다. 기저 잡음은 총 3회 실시했으며, 측정 결과는 표 4.4와 같다.

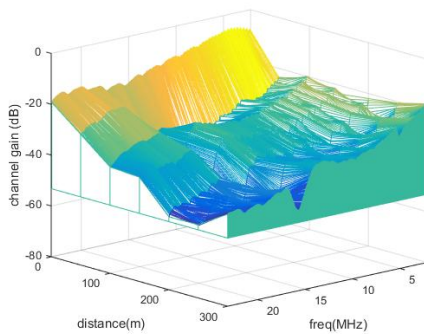
표 4.4 가공 및 지중선로의 기저잡음 측정결과

기저잡음	가공선로(dBm)	지중선로(dBm)
평균치(A)	-79.77	-72.48
최대치(M)	-67.49	-46.28
차이(M-A)	12.28	26.2

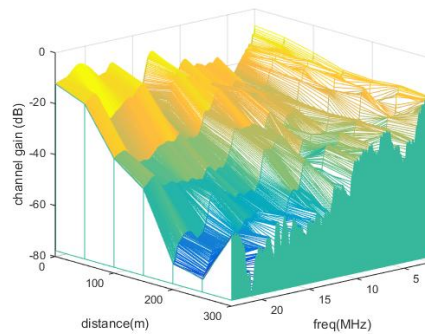
지중선로에서의 잡음은 작게는 -73dBm, 그리고 크게는 -46dBm으로 그 변화폭이 26dB로 생각보다는 크다는 것을 알 수 있다. 반면 가공선로는 그 차이가 12.3dB로 지중선로에 비해서 매우 낮은 것으로 측정되었다. 가공선로는 같은 피폭 내에 2가닥의 전선이 밀착해서 구성한데 반해서 지중선로는 각각 별도의 선로로 이루어져서 지중선로를 같은 구간에 포설하더라도 지중케이블의 간격은 일정하게 유지되지 않아서 선로에 유

입되는 잡음이 약 두 배 정도 높아 변화의 폭이 큰 것으로 판단된다. 본 측정에서의 한계는 지중케이블을 지중에 매설할 수 없어 지상에 설치하고 실험을 진행해서 정확한 데이터를 얻을 수 없었다. 향후 추가 연구에서 지중에 전선을 직접 매설한 후 재 측정해서 보완하고자 한다.

또한, 무부하 상태에서 가공 및 지중선로의 신호감쇠 측정을 위해 신호 발생기에서 0dBm의 출력을 보냈을 때, 신호 발생기에서부터 50m 간격으로 300m까지 총 7회 측정을 시행하였다. 측정결과 그림 4.7과 같이 신호 감쇠는 전선의 종류, 주파수 크기, 그리고 인입선의 거리에 대해서 영향을 받고 있음을 확인하였다. 그림에서 x(좌측) 축은 송신측에서의 거리를 나타내고, y(우측) 축은 주파수를 나타낸다. 주파수 범위는 고속 PLC 신호 대역과 유사한 2.131MHz ~ 23.156MHz를 사용했으며, z(세로) 축은 수신 정현파 신호의 전력으로 채널의 이득(부호가 음이므로 감쇠)을 나타낸다.



(a) 가공선로에서 채널의 감쇠



(b) 지중선로에서 채널의 감쇠

그림 4.7 가공 및 지중선로에서의 채널감쇠

측정 결과, 가공전선은 거리 및 주파수에 따른 감쇠의 변화가 최대 -60dB를 넘지 않았으며, 지중케이블은 거리가 멀어질수록 -70db이상으로 감쇠가 심해졌다. 실험에서 300m지점에서의 감쇠가 200m 지점보다

조금 작게 나타났지만 실험환경의 특수성으로 인해 발생한 결과인지 향후 추가연구에서 재 측정을 통한 확인이 필요하다.

하지만, 주파수가 높아질수록, 거리가 멀어 질수록 감쇠가 증가하는 것을 알 수 있었으며, 가공전선보다 지중케이블에서 감쇠가 더 크다는 것을 측정을 통해서 확인하였다.

4.2.2 지중지역 PLC 통신성능 현장측정

실제 부하가 연결되어 전기를 사용하고 있는 지역에 대해서 지역별 PLC통신방식의 영향을 분석하기 위해 표 4.5와 같이 가공 및 지중 대표 지역을 각각 선정하였다. 전력선에 연결된 부하를 통해서 유입되는 노이즈의 영향과 선로의 종류, 거리에 따라 PLC통신에 미치는 영향을 분석하였다. 하지만, 가공지역과 지중지역이 동일한 현장 조건이 아니고 선로의 구성이나 부하의 연결, 노이즈 크기, 측정시간에 따른 변화 등 다양한 변수가 있어 측정결과에 조금은 영향이 있겠지만 크지 않아 지역별 PLC 통신방식의 통신성능을 확인하기 위해 현장측정을 시행하였다.

표 4.5 현장 측정지역 내역

측정 지역	측정위치	저압선로 구성도	현장 위성사진
지중	광주 서구 ①지역		
가공	나주시 ②지역		

우선, 지중지역 측정 장소로 그림 4.8의 광주 서구 ① 지역의 변압기에서부터 전기를 공급받고 있는 지역을 측정하였다. 저압선로의 구성이 모

두 지층으로 구성되어있는 구간으로 지상변압기로부터 72m, 138m, 214m 떨어진 3곳 위치에서 계측기 및 모뎀을 설치하고 통신능력 시험을 실시하였다. 주거 구성은 빌라, 상가 그리고 어린이집 등 비교적 상가형 중심의 주거 환경으로 구성되어 있으며 밀집도가 높고 지중선로의 특성을 감안할 때 PLC 통신방식에 있어서 장애요인이 많은 구간에 해당된다.



그림 4.8 지중지역 현장사진 및 측정위치

측정지점을 선정하고 PLC 통신신호를 측정하기 전에 먼저 기저잡음 측정을 시행하였다. 기저잡음 측정시 평균모드와 최대값(max hold)모드로 나누어서 측정했으며, RWB는 10kHz 및 30kHz로 설정하였다. 그 결과는 표 4.6과 같이 측정되었다.

표 4.6 지중지역 신호 및 잡음측정결과

번호	측정잡음 전력(dBm)	측정모드	RBW (kHz)	측정위치
1	-36.23	평균 모드	10	변대주
2	-25.92	Max Hold 모드	10	변대주
3	-35.49	평균 모드	30	변대주
4	-28.08	Max Hold 모드	30	변대주
5	-41.06	평균 모드	10	MP1
6	-22.76	Max Hold 모드	10	MP1
7	-38.57	평균 모드	30	MP1
8	-17.80	Max Hold 모드	30	MP1
9	-45.28	평균 모드	10	MP2
10	-31.32	Max Hold 모드	10	MP2
11	-45.47	평균 모드	30	MP2
12	-26.09	Max Hold 모드	30	MP2
13	-50.40	평균 모드	10	MP3
14	-25.60	Max Hold 모드	10	MP3
15	-51.31	평균 모드	30	MP3
16	-20.80	Max Hold 모드	30	MP3

신호 및 잡음 측정결과를 바탕으로 그림 4.9와 같이 그래프로 전환해보면, 가로축은 측정 지점 번호이며, 측정 지점 0은 변대주, 1에서 3은 MP1에서 MP3을 나타낸다. 푸른색원은 평균모드, 붉은색원은 최대값(max hold)모드 결과를 나타내며, 우측의 번호는 앞의 표에 제시된 번호이다.

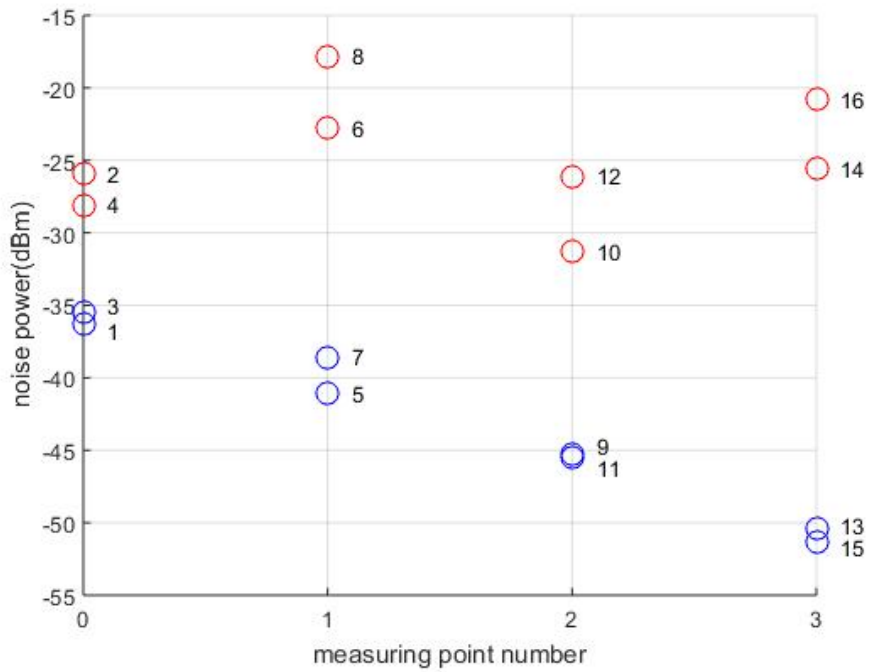
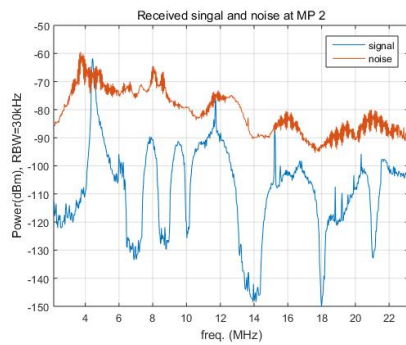
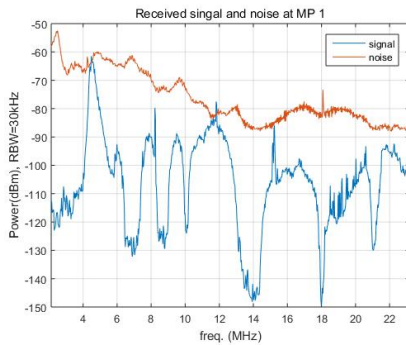
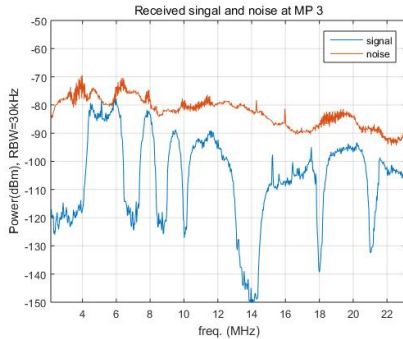


그림 4.9 지중지역 잡음측정 그래프

그림 4.10은 기저잡음을 측정한 후 PLC 대역에서의 실제신호와 잡음을 MP1 부터 MP3 까지 차례로 측정한 결과이다.



(a) 1지점에서 신호와 잡음 스펙트럼 (b) 2지점에서 신호와 잡음 스펙트럼



(c) 3지점에서 신호와 잡음 스펙트럼

그림 4.10 PLC대역 신호와 잡음 측정결과 화면

측정결과를 살펴보면 모든지역에서 신호의 감쇠가 노이즈 레벨보다 높아서 통신이 불가능을 알 수 있다. SNR 값으로 환산하더라도 결과 값이 0을 넘지 못해 지중지역에서는 PLC의 신호감쇠가 심하다는 것을 알 수 있다. 또한, 통신을 하기 위해서는 앞서 LAB에서 측정했던 최소 신호의 세기가 -77dBm정도 이상 필요하지만, 1과 2지역에서 4~6MHz 대역의 극히 일부 구간에서만 높았고, 나머지 구간에서는 그 기준을 넘지 못했다.

4.2.3 가공지역 PLC 통신성능 현장측정

그림 4.11은 가공지역 측정 장소로 나주시 ②의 변압기에서부터 전기를 공급받고 있는 지역을 측정한 결과이다. 저압선로의 구성이 모두 가공으로 구성되어있는 구간으로 가공변압기로부터 11m, 30m, 57m, 101m 떨어진 4곳의 위치에서 계측기 및 모뎀을 설치하고 통신성능 시험을 실시하였다. 주거 구성은 일반 단독주택 중심의 주거 환경으로 구성되어 있으며 밀집도가 높지 않고 가공선로의 특성을 감안할 때 PLC통신에 있어 양호한 지역이다.

6	-20.68	Max Hold 모드	10	MP1
7	-44.10	평균 모드	30	MP1
8	-22.13	Max Hold 모드	30	MP1
9	-43.12	평균 모드	10	MP2
10	-25.38	Max Hold 모드	10	MP2
11	-45.13	평균 모드	30	MP2
12	-27.43	Max Hold 모드	30	MP2
13	-42.95	평균 모드	10	MP3
14	-30.97	Max Hold 모드	10	MP3
15	-43.84	평균 모드	30	MP3
16	-32.96	Max Hold 모드	30	MP3
17	-37.63	평균 모드	10	MP4
18	-24.04	Max Hold 모드	10	MP4
19	-40.40	평균 모드	30	MP4
20	-25.73	Max Hold 모드	30	MP4

신호 및 잡음 측정결과를 바탕으로 그림 4.12와 같이 그래프로 전환해보면, 가로축은 측정 지점 번호이며, 측정 지점 0은 변대주, 1에서 4는 MP1에서 MP4를 나타낸다. 푸른색원은 평균모드, 붉은색원은 최대값(max hold)모드 결과를 나타내며, 우측의 번호는 앞의 표에 제시된 번호이다.

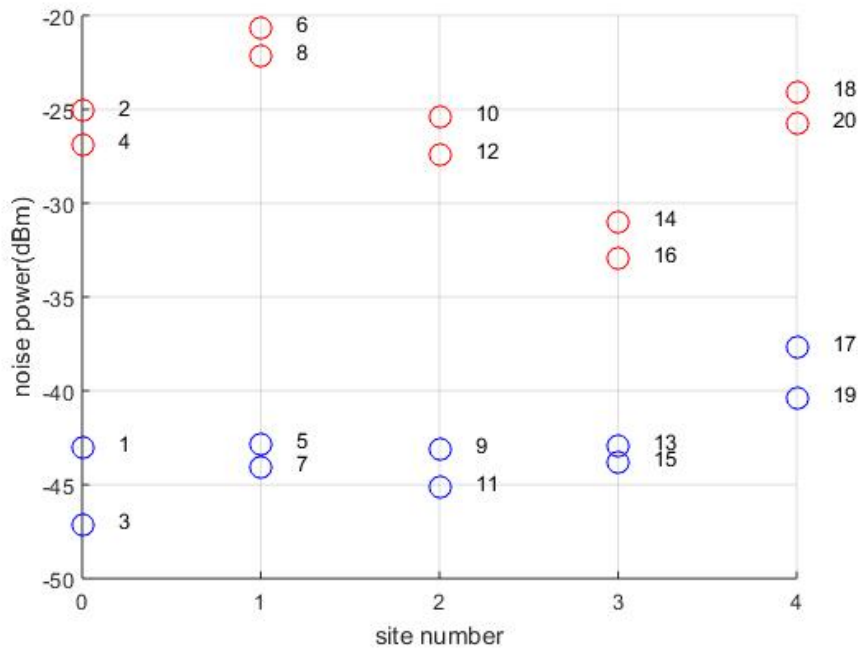
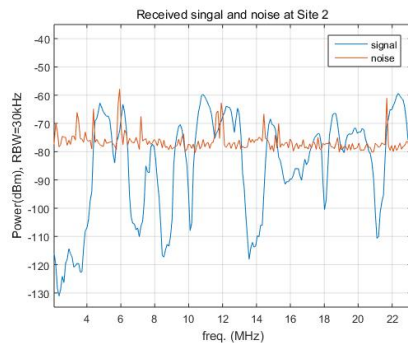
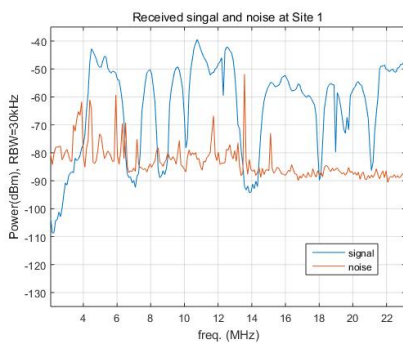
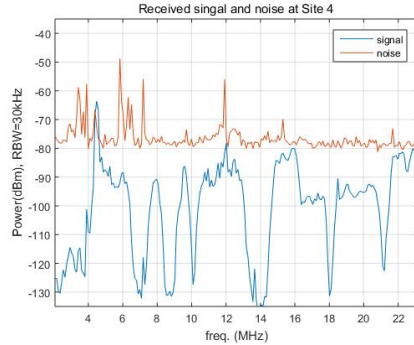
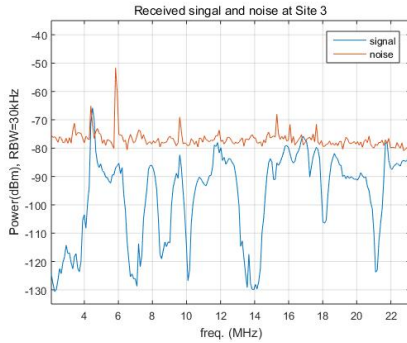


그림 4.12 가공지역 잡음측정 그래프

기저잡음을 측정 한 후 PLC 대역에서의 실제신호와 잡음을 MP1 부터 MP4 까지 차례로 측정하였으며, 그림 4.13과 같은 결과가 나왔다.



(a) 1지점에서 신호와 잡음 스펙트럼 (b) 2지점에서 신호와 잡음 스펙트럼



(c) 3지점에서 신호와 잡음 스펙트럼 (d) 4지점에서 신호와 잡음 스펙트럼

그림 4.13 PLC대역 신호와 잡음 측정결과 화면

측정결과를 살펴보면 1번과 2번 지역은 통신이 가능하지만, 3번과 4번 지역의 신호는 노이즈 레벨보다 낮아서 통신이 불가능을 알 수 있다. SNR 값으로 환산하더라도 결과 값이 0을 넘지 못해 가공지역에서도 거리의 증가에 따라 PLC의 신호감쇠가 심하다는 것을 알 수 있다. 2번지역인 30m까지는 통신이 가능하지만 3번지역인 57m 지점은 신호감쇠가 심해서 통신이 불가능 하였다. 무부하 상태에서 측정했을 때는 300m까지 통신이 가능했지만 실제 부하가 연결된 상태에서는 여러 가지 영향으로 통신이 불가능 한 것을 알 수 있었다. 또한, 통신을 하기 위해서는 최소 신호의 세기가 -77dBm정도 이상 필요하지만, 변대주에서 가까운 1과 2지역을 제외하고는 거리가 50m를 넘어가는 지역에서는 4~6MHz 대역의 극히 일부 구간에서만 높았고, 나머지 구간에서는 최소 신호 세기를 넘지 못했다.

이를 종합해보면 가공지역이 지중지역보다 통신 감쇠가 적지만, 가공지역에서도 선로의 거리가 멀어짐에 따라 감쇠가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 지중지역에서 PLC 통신방식은 가공지역보다 높은 신호 감쇠가 있었으며, 모든 지역에서 통신이 불가능 한 것을 확인할 수 있었다. 현장측정 결과에서도 이를 확인할 수 있었으며, 지중지역에서는 PLC 통신에 많은 장애요인이 있음을 알 수 있었다.

제 5 장 결 론

본 연구에서는 스마트그리드에서 AMI 핵심요소인 전력량계, PLC 통신 방식과 저압 원격검침 시스템의 구성요소와 지중지역에서 PLC통신방식에 영향을 미치는 요소에 대해 검토하였다. 전력선의 설치환경이나 시설 위치에 따른 전력선 통신 신호 특성에 대한 영향을 분석하고, 저압계통의 선종별 신호특성 및 가공전선에 비해 지중케이블에서 신호감쇠가 큰 이유에 대해서 연구하고, 다음과 같이 연구내용을 요약하였다.

(1) 송신단에서 수신단까지의 선로거리가 멀어짐에 따라 신호의 감쇠 및 왜곡이 커졌다. 저압 분기선로가 많을수록 임피던스 불일치와 반송파가 많이 발생해서 신호의 손실이 커지는걸 알 수 있었다. 그리고, 전력선에 연결된 전기기계 장치에서 발생하는 외부 노이즈에 의한 간섭문제 발생으로 전력선의 통신성능을 저하 시켰다. 가공지역에 비해 상대적으로 지중지역에서의 선로 공장이나 저압분기가 많다는 점을 고려하면 지중지역이 전력선 통신환경에 좋지 않다는 것을 확인하였다. 또한 전선이 시설된 환경에 따라서 고유값의 차이가 발생했다. 지중에 매설된 케이블의 임피던스는 낮은 편이지만 감쇠계수는 가공전선에 비해 지중케이블이 높았다.

(2) 저압계통에서 사용하는 선종별 특성값을 가공전선과 지중케이블에 대해 비교해 보면 특성임피던스는 가공전선이 높았지만, 감쇠계수는 지중케이블이 높은 것을 확인하였다.

(3) 이를 종합해보면, 전선의 설치 위치나 선종에 따라서 신호의 감쇠가 달랐으며, 전력선 통신방식은 지중지역에서 신호감쇠가 더 많이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 연구실에서 국산 PLC통신방식의 성능을 시험했으며, 가공지역과 지중지역을 선정해서 실제 통신성능을 시험해보았다. 전선의 거리가 멀어지는 것에 비례해서 신호가 감쇠되었고, 가공전선보다 지중케이블에서의 신호 감쇠가 높은 것을 알 수 있었다. 또한 실제 부하가 연결된 가공지역에서는 송신단과 가까운 곳은

통신이 가능했지만, 멀어질수록 신호의 감쇠가 증가하는 것이 확인되었다. 반면 지중지역에서는 신호의 감쇠가 커서 전 구간에서 통신이 되지 않았다. 무부하 선로에서는 PLC 통신이 300m까지 가능했지만, 실제로 부하가 연결된 선로에서는 부하에 연결된 노이즈에 의한 영향을 많이 받아 통신이 불가능 했다.

본 논문에서는 설치환경이나 시설위치에 따라서 PLC 통신방식에 미치는 영향을 연구하였고, 현장 실증을 통해 지중지역에서 전력선 통신의 감쇠가 심하다는 것을 정량적으로 분석하였다. 그러나 가공지역과 지중지역에 대한 현장실증을 임의의 조건으로 한 장소에서만 시행했다는 점에서 본 연구의 한계가 있다. 향후 연구과제에서는 실제 현장의 특성을 분석하고, 다양한 환경에서의 추가적인 실험을 통해 문제점을 극복하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] T.Tran-Anh,P.Auriol, “Distribution network modeling for Power Line Communication applications”, IEEE Trans. On Power Delivery, No 1, 2005
- [2] Niovi Pavlidou, “Power line communications: state of the art and future trends”, IEEE Communications magazine, No 2, 2003
- [3] Wu Quiong Luo, “Effect of the Ground on Power-Line Communications”, IEEE Trans. On Power Delivery, No 1, 7, 2005
- [4] Justin Anatory, “The Influence of Load Impedance, Line Length, and Branches on Underground Cable Power-Line Communication (PLC) System”, IEEE Trans. On Power Delivery, No 2~6, 2007
- [5] Muhammad Salman Yousuf, “Power Line Communications : An Overview-Part1”, IEEE Trans. On Power Delivery, No 3~4, 2008
- [6] D. Liu, E. Flint, "Wideband AC powerline characterization", IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 45, no. 7~9, 1999.
- [7] Athanasios G, “Broadband Transmission via Underground Medium-Voltage Power Lines”, IEEE Trans. Power Delivery, vol 25, No 8, 2010
- [8] J.Yazdani, “Power Line Analysing Tool (PLAT) For Channel

Modelling”, 5th International Symposium, No 3, 2001

[9] 이재조, “고압 배전선로 전력선 통신 채널 특성 분석 연구”, 경희대 박사논문, No 21, 2005

[10] Manfred Zimmermann, “A multipath model for the powerline channel”, IEEE Trans. on communications, No 2, 2002

[11] 배명진, 심용걸, 유홍균, 홍연찬 공역 “ 전자통신공학” 홍릉과학출판사, No 384, 1992

Abstract

AMI Effect Analysis of Power-Line Communication System on Underground

Jun Soo Sim

Graduate School of Engineering Practice

Seoul National University

In the past it was an unilateral power system that supplied generated power to customers. Recently, it has become a power system that can supply power generated by customers to the grid, and can sell the remaining electric power.

Power usage information for each customer of power generation has become important for the calculation of power generation through accurate demand forecasts. To realize this, AMI deployment is essential. Implementation of AMI also enables bi-directional metage. The ability to measure electrical quality of the electricity also allows the reliability of the power system to be improved. To obtain electricity usage information, voltage, and current data from the electric meter, a reliable network of reliability and affordability is needed.

Customers who use a large amount of electricity acquire metering data by using a mobile communication network, but it is difficult to

use a mobile communication network with high communication cost in the case of customers with low electricity usage.

To address these problems, the power line communication method was introduced. The PLC system communicates with the power lines installed to provide power supply without having to establish a separate line of communication. As a result, it has great advantages in economics because it lowers the cost of deploying AMI.

However, if you use the power line to obtain metric data, it will be affected by communication performance by installing power cables or noise generated by various loads.

Currently, we are considering various types of communication methods for deploying AMI, but we are currently using the PLC method. In the PLC method, the performance is good in the installed power line, but the communication performance is poor in the power line installed in the under-ground. Therefore, most of them are installed mainly in overhead area.

This study report analyzes the components of the AMI system and the impact of PLC communications in the under-ground area.

Furthermore, in order to analyze the influence of the PLC system according to the environment in which the power line is installed, the test was carried out in the field.

keywords : Powerline communication, PLC, Advanced Metering Infrastructure, AMI system